

Rotorblätter – leichter, präziser, kostengünstiger?!

Wissenschaftstag
Braunschweig, 20. September 2016

Birgit Wieland



Knowledge for Tomorrow

Inhalt

- Einleitung
- Motivation
- Methode
- Toleranzoptimierte Fertigung
- Ausblick



Einleitung

Wie werden Rotorblätter leichter?

- Smart Blades
- optimiertes Design
- ...

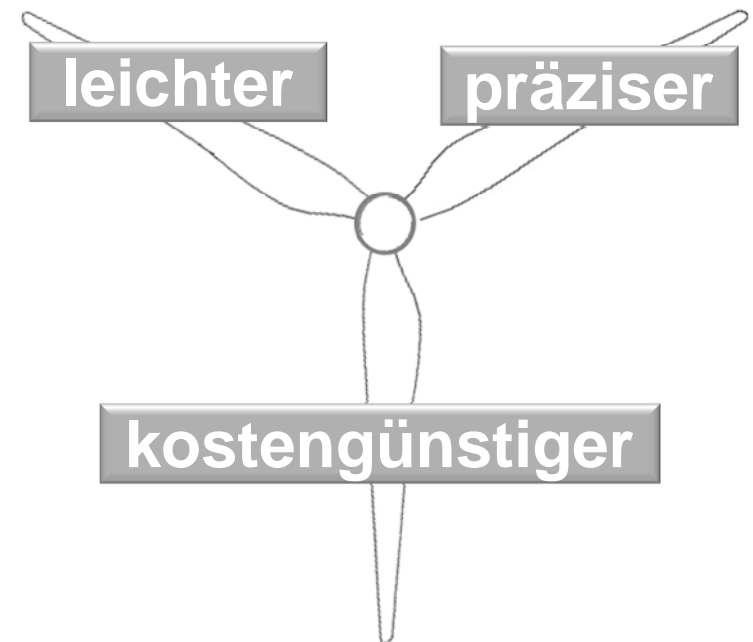
Voraussetzungen

- Präzisere Faserablage
- geringere Streuung der Toleranzfelder

Lösungsansätze:

- Automatisierung
- Qualitätssteigerung durch Verringerung der Toleranzspannen

Leichter, präziser, kostengünstiger?



Motivation

Maximale Bauteilqualität bei minimal möglichen Kosten

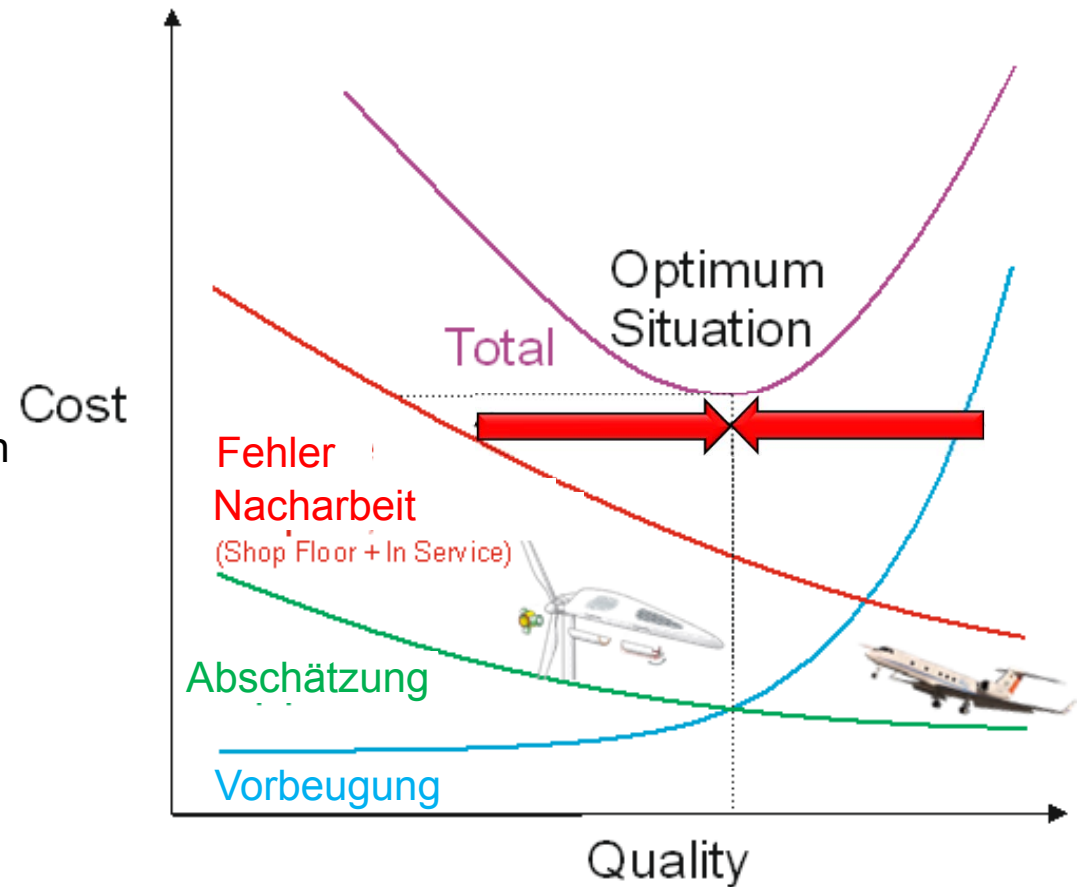
2 Wege:

Qualitätsoptimierte Fertigung

Kleine Toleranzfelder, hohe Kosten durch
Minimierung des Einflusses der Störfaktoren
⇒ Optimierte, teure Fertigung

Robuste Fertigung

Große Toleranzfelder, hohe Kosten durch
Fehler und Nacharbeit
⇒ robust, kostengünstige Fertigung



Schematische Darstellung: Verhältnis Produktionskosten zu Bauteilqualität

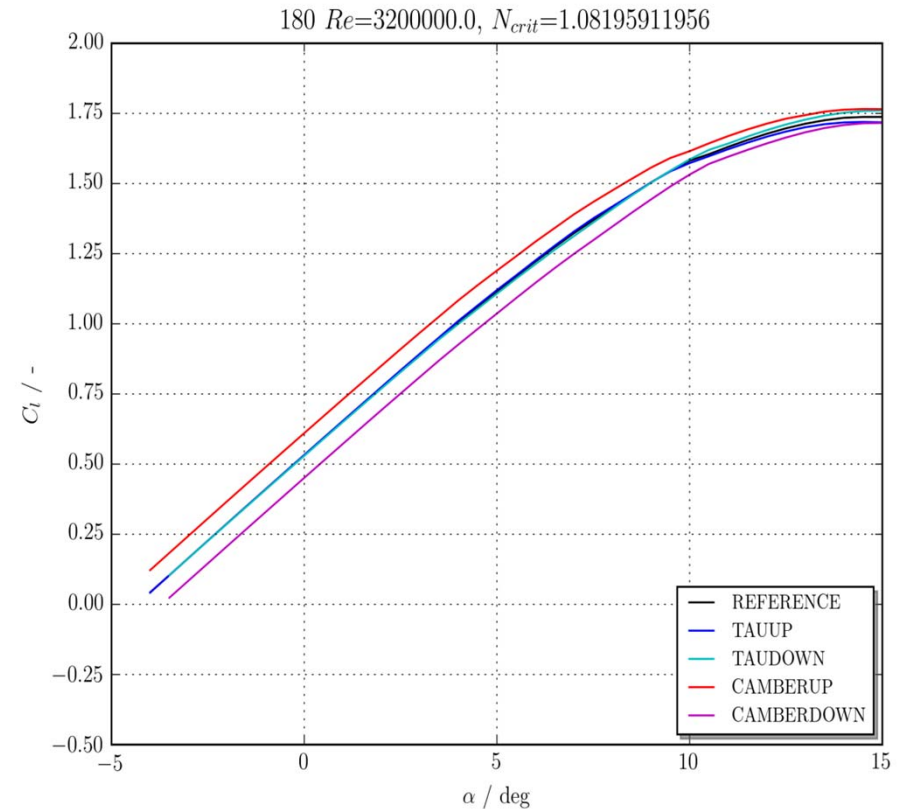
Methode - Qualitätsoptimierte Fertigung

- Nachteile:
 - Hohe Kosten durch komplexe Werkzeuge und Einrichtungen (z. B. Autoklav)
 - Lange Produktionszyklen
- Enge Toleranzfelder nur durch Automatisierung und hohen Aufwand erreichbar
- Beispiel: Strukturelle Verklebung im Bereich UAV
Klebespalt $0,5 + \sqrt{-0,2}$ mm



Methode - Robuste Fertigung

- Nachteile:
 - Hoher Materialverbrauch durch hohe Sicherheitsfaktoren
 - Hoher Zeit- und Kostenaufwand durch Nacharbeit
- Leistungsverluste durch Abweichungen z.B. in Profilgeometrie
- Beispiel: Aerodynamische Änderungen durch Abweichung der Formgeometrie



Auftriebsbeiwert für Unterschiedliche Abweichungen
Quelle IWES



Methode – Toleranzoptimierte Fertigung

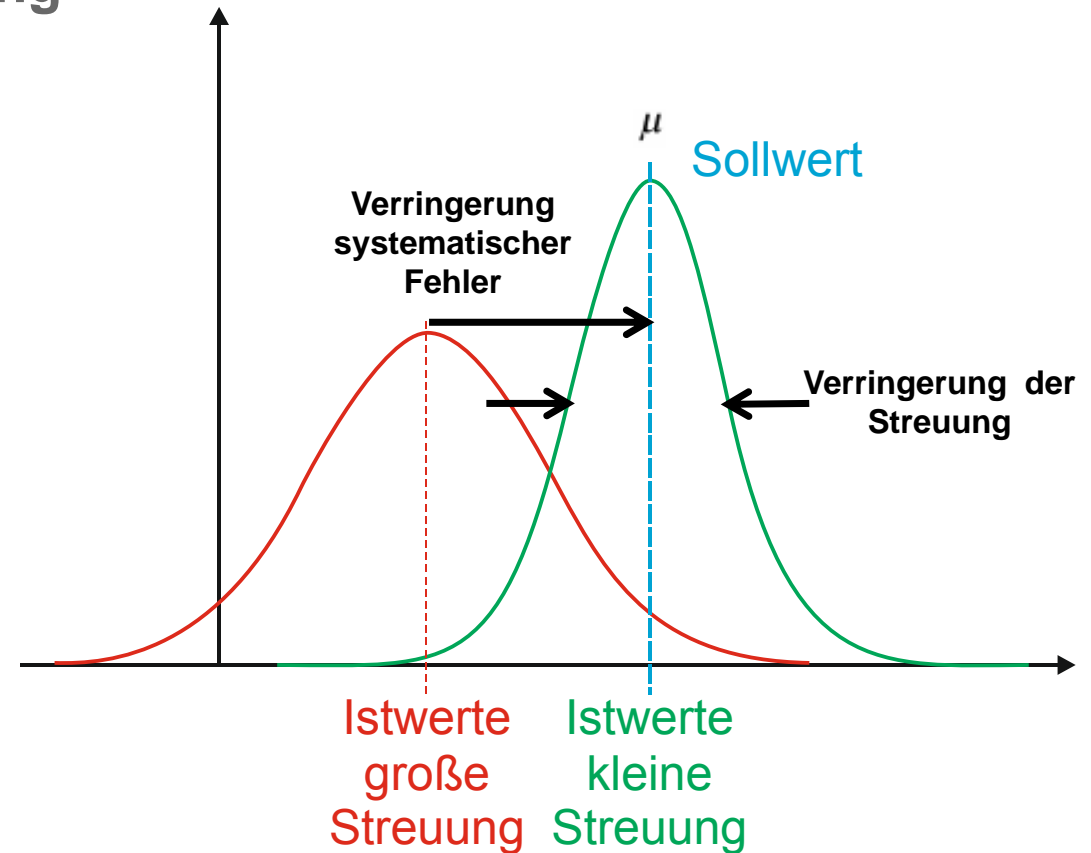
Robuste Fertigung mit verbesserten Bauteileigenschaften

- Verringerung systematischer Fehler
- Verringerung der Streubreite

Durch:

- Automatisierung (nur wo notwendig und kostentechnisch sinnvoll)
- Sensorgestütztes Toleranzmanagement

Herausforderung: Identifikation der kritischen Pfade



Toleranzoptimierte Fertigung - Anwendung

Rotorblätter für Windenergieanlagen:

Abmaße:

- Länge >80m
- Max. Blatttiefe >5m

Bestandteile

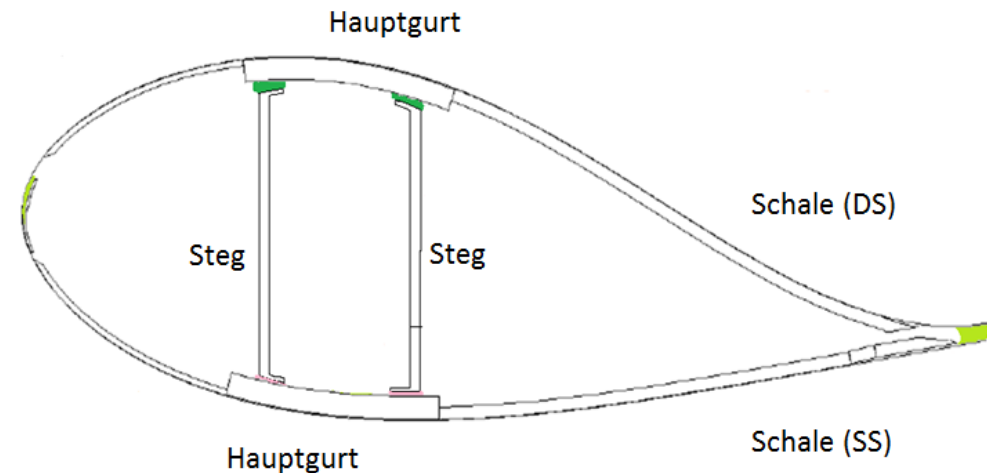
- Schalen (Sandwichmaterial)
- Hauptgurte (UD-Glas, UD- Kohle)
- Steg(e) (Sandwichmaterial)

Herstellung:

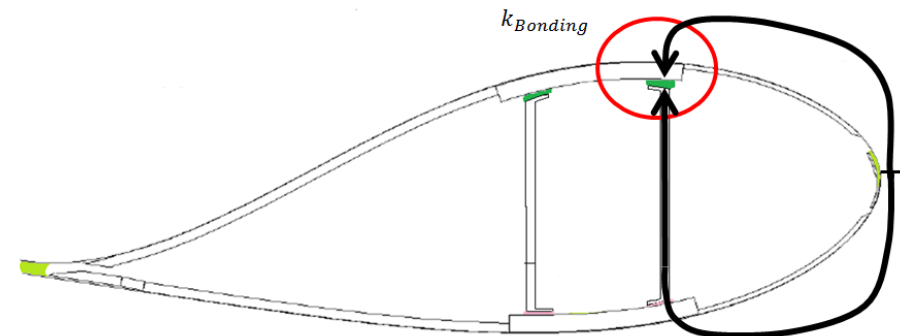
- Infusion
- Einseitig beheizbare Werkzeuge

Verklebung eines Rotorblattes

Schlüsselcharakteristik $k = 1-15\text{mm}$



Querschnitt eines Rotorblattes nach [2]



Toleranzkette und Schlüsselcharakteristik



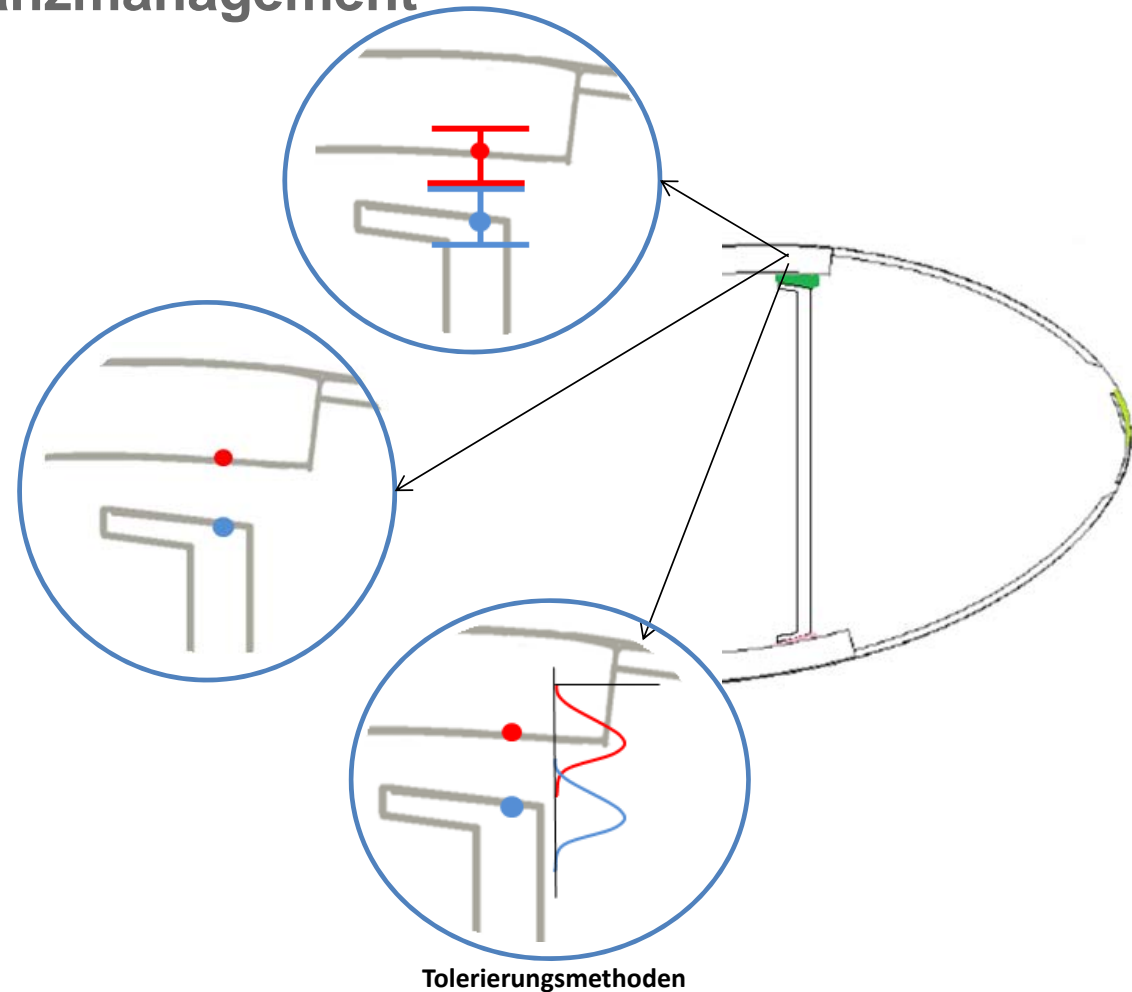
Toleranzoptimierte Fertigung - Toleranzmanagement

Toleranzmanagement:

- Identifikation der Schlüsselcharakteristik (Kerneigenschaft des Produktes)
- Identifikation der kritischen Parameter und Übertragungsfunktion
- Aufbau eines Toleranzanalysesystems zur Beschreibung des Einflusses der einzelnen Parameter auf die Schlüsselcharakteristik

Tolerierungsmethoden

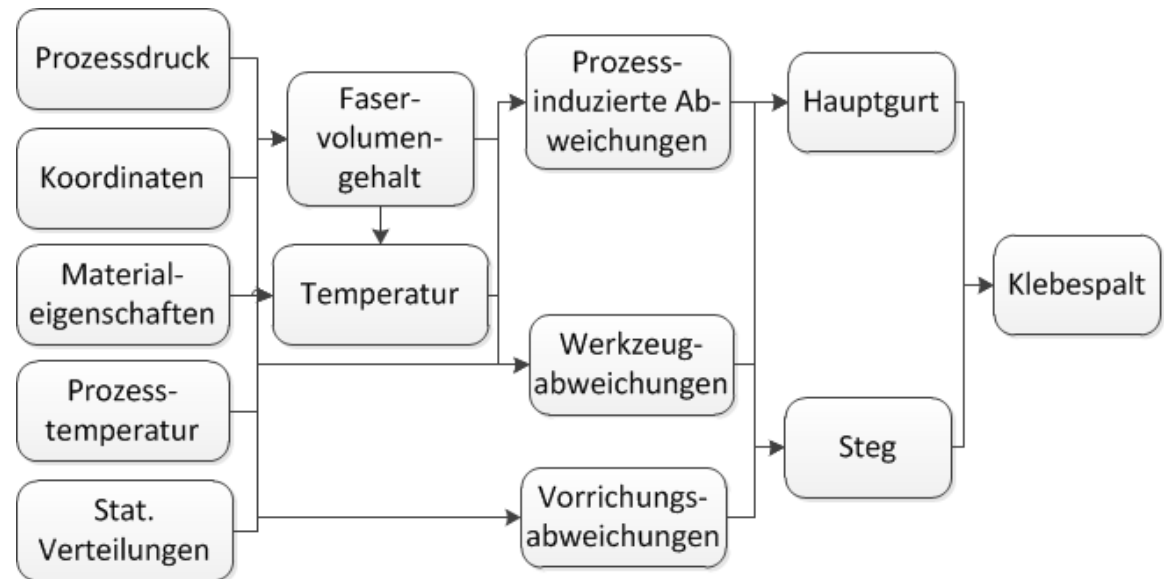
- Arithmetisch
- Zufällig
- Statistisch



Toleranzoptimierte Fertigung - Toleranzanalyse

Besonderheiten der Toleranzanalyse für FV-Bauteile

- Elemente der Toleranzkette:
 - Prozessparameter
- Übertragungsfunktionen
 - Chemische Prozesse
 - Physikalische Prozesse
- Herausforderung:
 - Hohe Streuung der Parameter und Materialeigenschaften
 - Prozessorientierte Übertragungsfunktionen



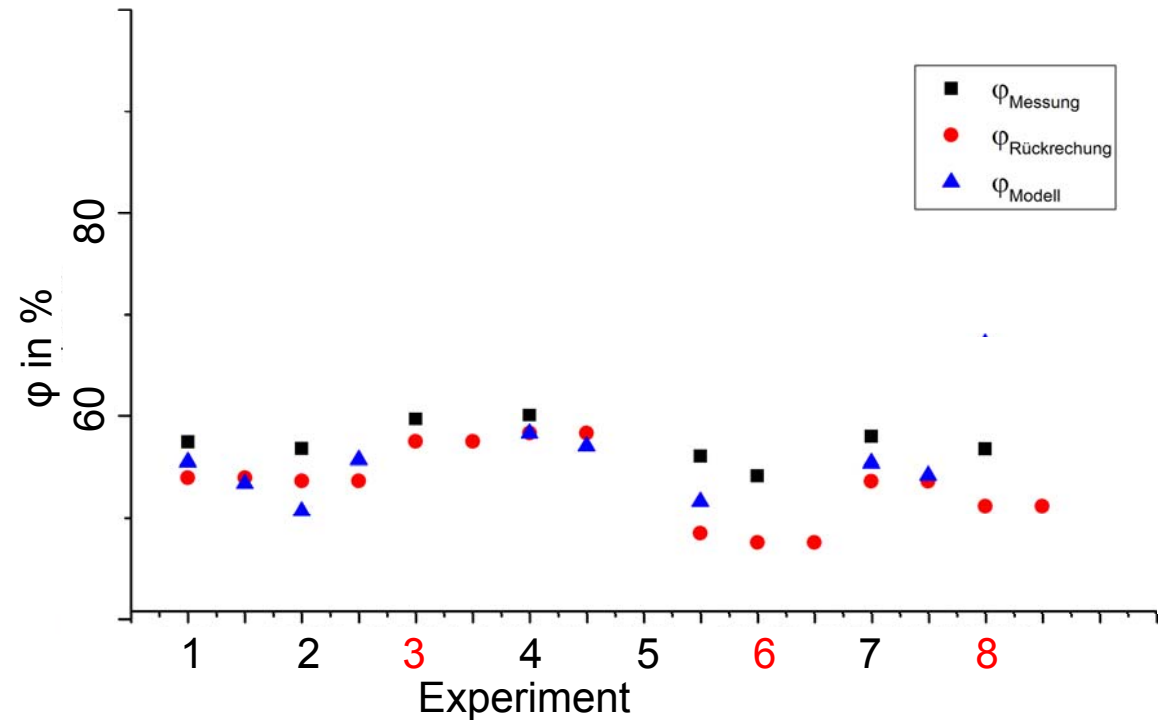
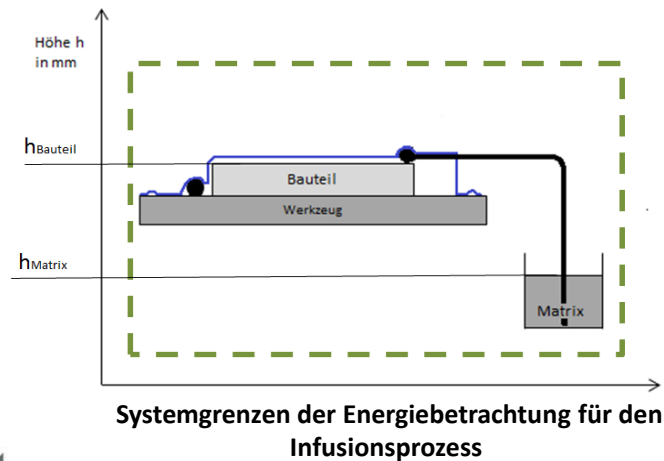
Module der Toleranzbetrachtung für den Klebespalt von RB



Toleranzoptimierte Fertigung - Toleranzanalyse

Modellierung des Faservolumengehaltes

- Infusion bei Umgebungsdruck
- Einseitiges Werkzeug
- Dicke Laminat
- Energiemodell mit Federanalogie

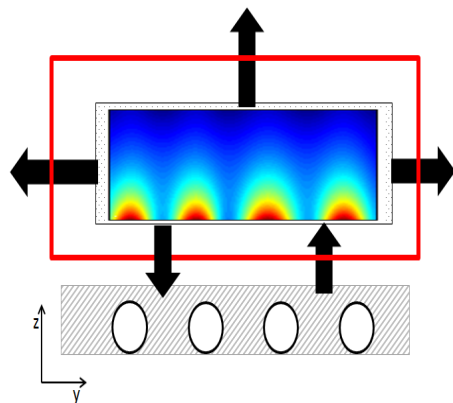


Faservolumengehalt aus Dickenmessung, Rückrechnung aus Plattengewicht und dem Modell

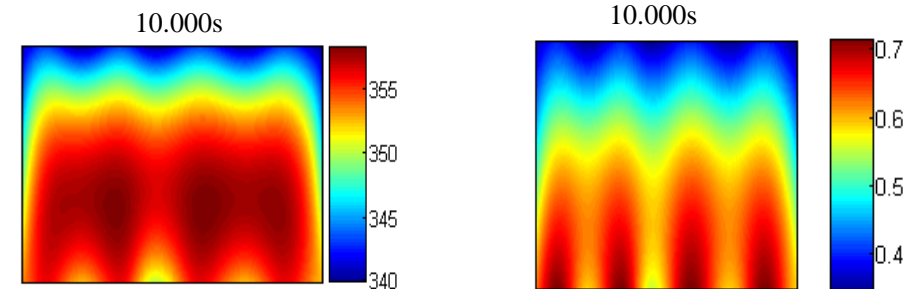
Toleranzoptimierte Fertigung - Toleranzanalyse

Modellierung der Prozesstemperatur

- Einseitig-beheizbare Werkzeuge
- Dicke Lamine
- Numerische Simulation auf Basis der Fourier'schen Wärmegleichung

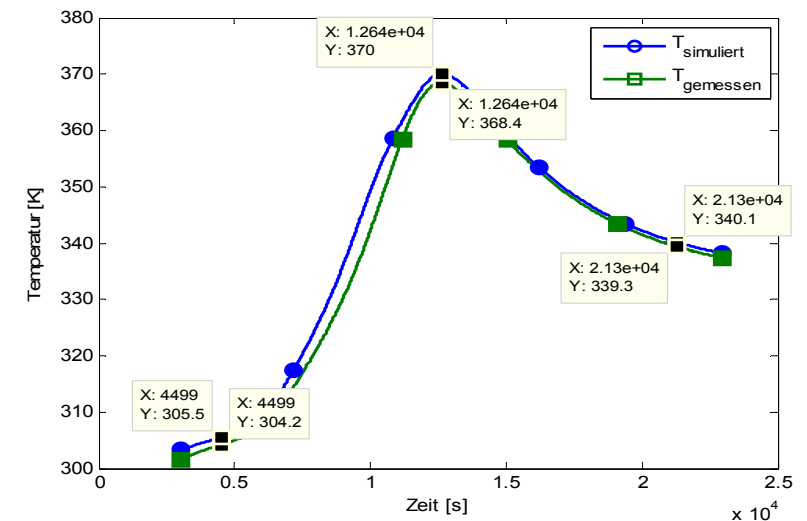


Modellierung Aushärtung Hauptgurt



Temperaturverteilung

Aushärtegradverteilung



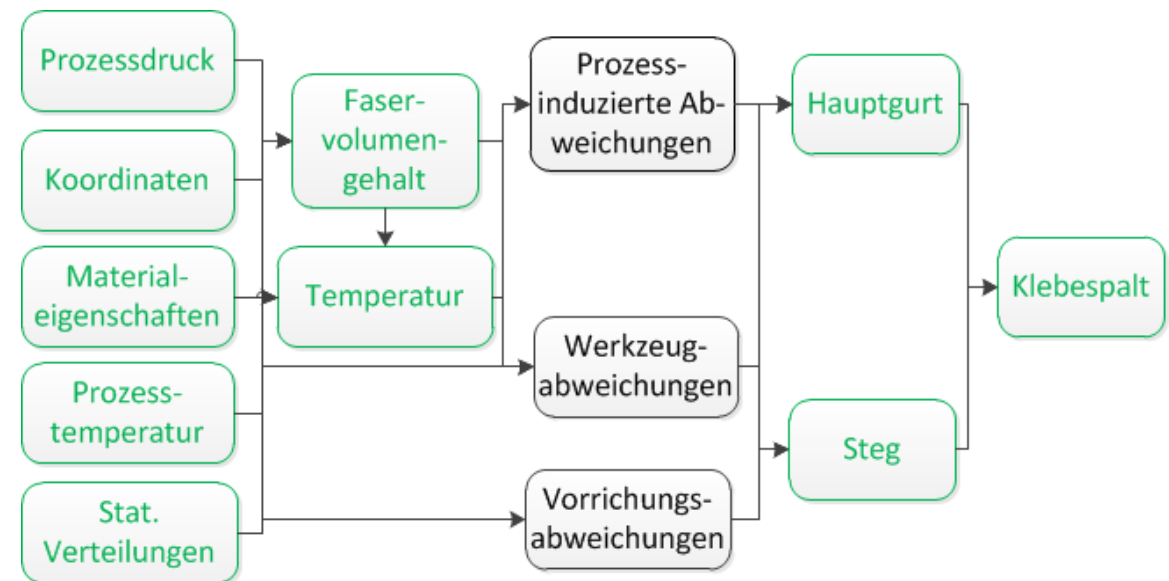
Verifizierung des Modells

Quelle: Masterthesis Sven Ropte

Toleranzoptimierte Fertigung - Toleranzanalyse

Das Toleranzmanagementsystem ist vollständig, wenn der Einfluss aller kritischen Parameter in der physikalischen Einheit der Schlüsselcharakteristik darstellbar ist.

Die Toleranzanalyse beginnt mit der Schlüsselcharakteristik und liefert verbesserte Inputparameter



Module der Toleranzbetrachtung für den Klebespalt von RB

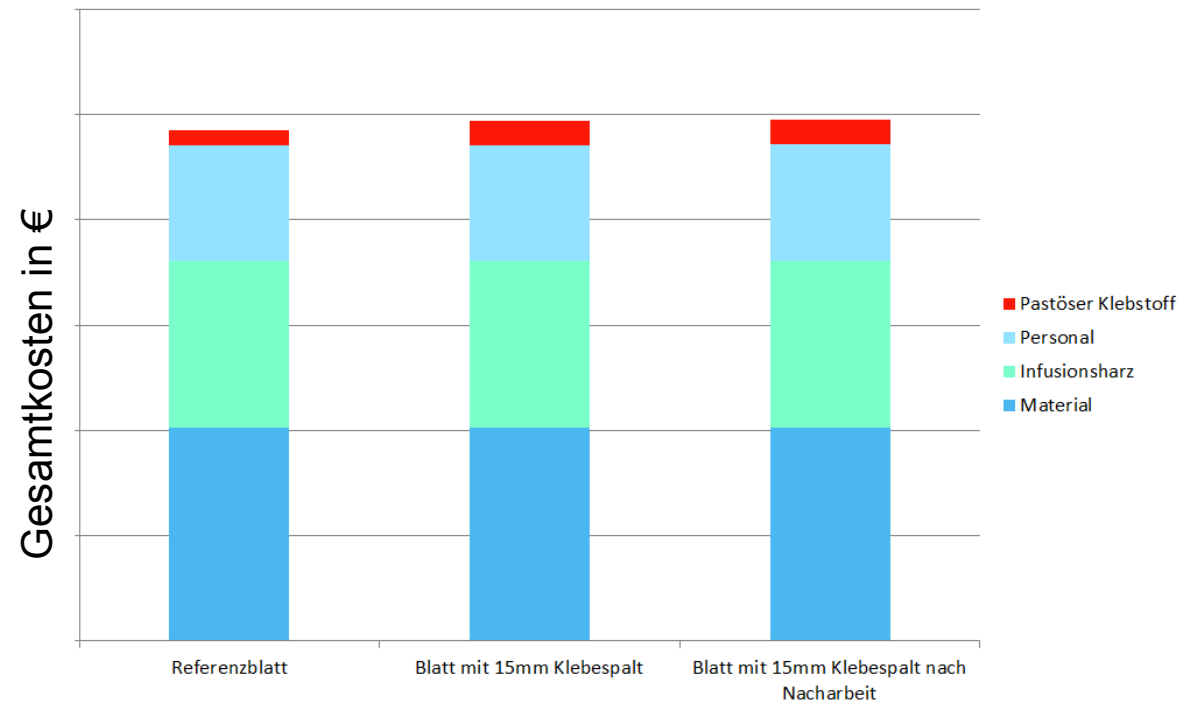


Toleranzoptimierte Fertigung -Kostenanalyse

Auswirkungen der Toleranzspanne des Klebespalt auf die Gesamtkosten:

- Ideal Referenzblatt mit 7mm Klebespalt
- Blatt mit 15mm Klebespalt
 - +5,4%
- Blatt mit 15mm Klebespalt nach Nacharbeit (6h)
 - +5,6%

Für den vorliegenden Fall gilt:
Leichter, präziser, kostengünstiger!



Quelle: Ali Al-Lami



Ausblick

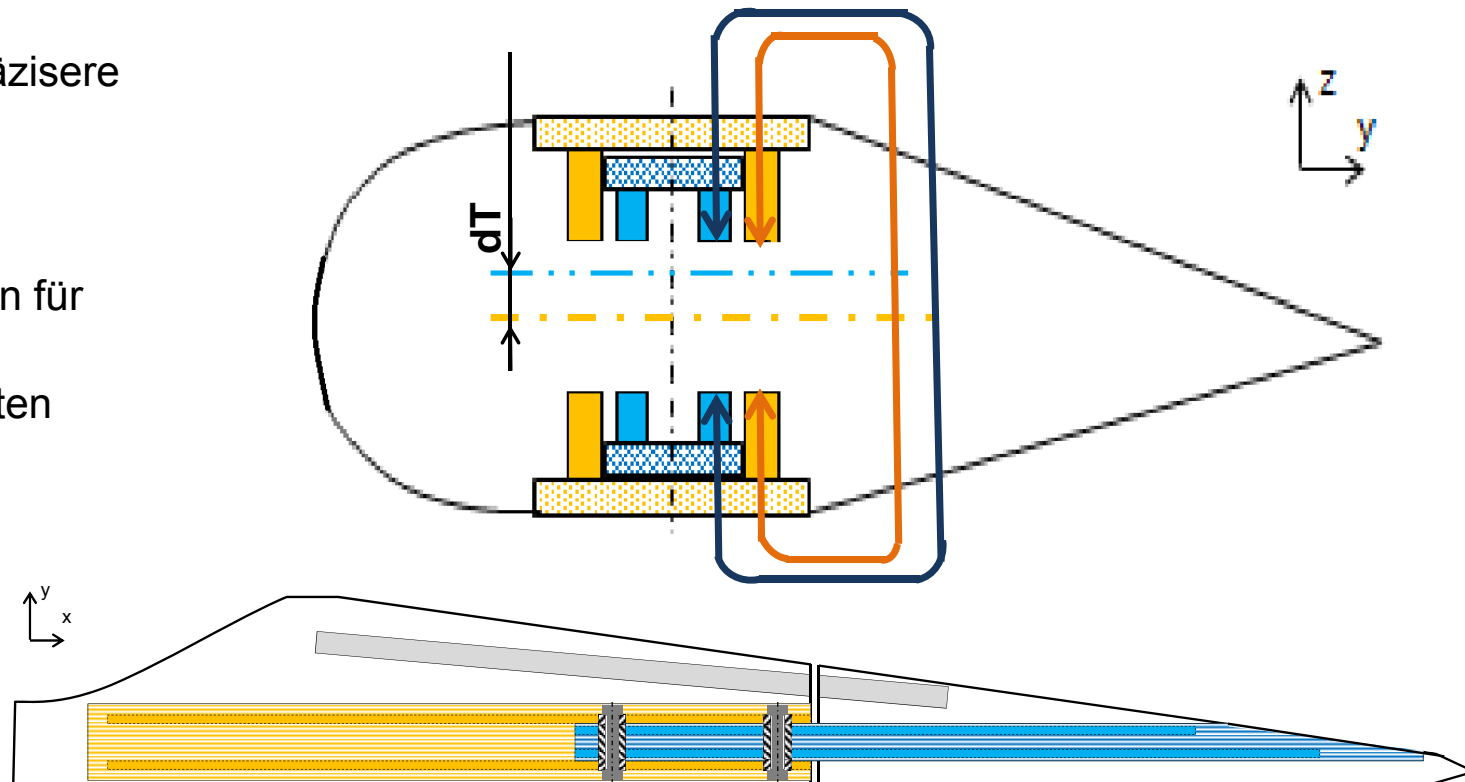
Neue Designmöglichkeiten durch präzisere Fertigung

Segmentierte Rotorblätter

- Verbesserte Transportmöglichkeiten für große Rotorblätter
- Vereinfachte Fertigungsmöglichkeiten

Herausforderungen:

- Robuste Verbindungskonzepte
- Fertigung der Trennstelle innerhalb der Toleranzvorgaben

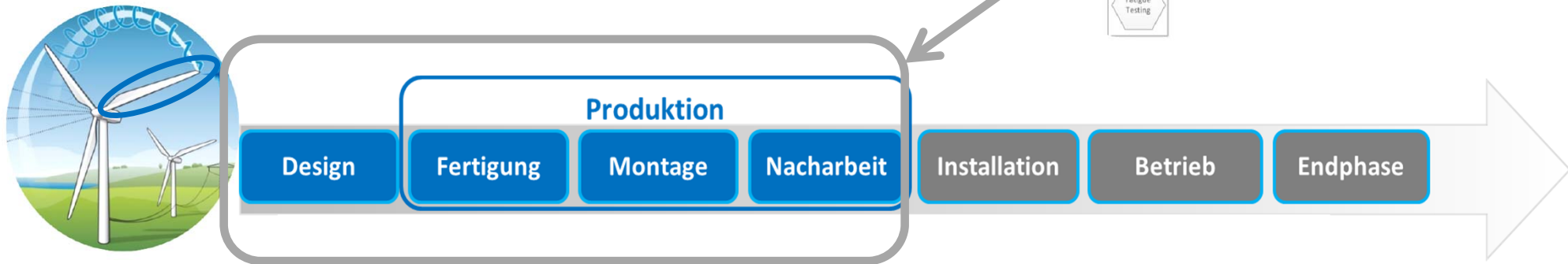


Teilungskonzept Rotorblatt
Quelle: Lutz Beyland DLR FA-FLB



Ausblick

- Verknüpfung des Toleranzmanagements mit Kostenbewertung
(*Eco Efficiency Assessment Model*) zur Bewertung
- Erweiterung zur Kostenabschätzung während der Designphase
(*Eco- Efficiency Estimation Model*)



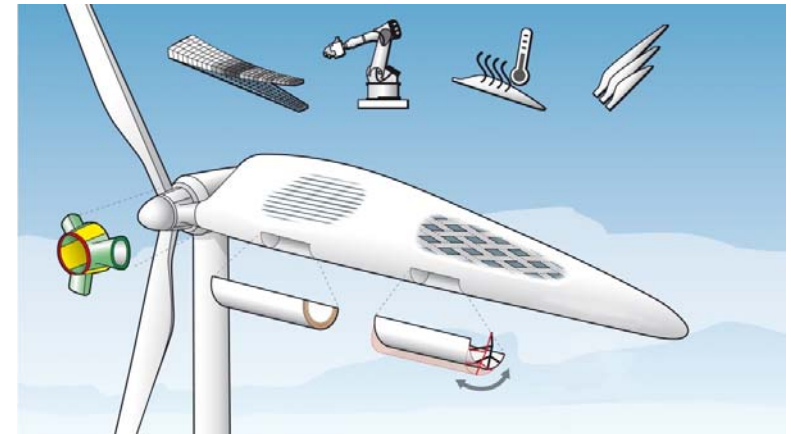
Lebenszyklus des Rotorblatts

Quelle: Ali Al-Lami



Zusammenfassung

- Toleranzoptimierte Fertigung als Methode zur reproduzierbaren Qualitätsverbesserung bei der Herstellung von Rotorblättern
 - Herausforderung der Identifikation der kritischen Pfade innerhalb der Toleranzketten
 - Modellierung des Einflusses der Inputfaktoren in der physikalischen Dimension der Schlüsselcharakteristik
 - Verknüpfung in der Toleranzsynthese und Optimierung der Prozessparameter in der Toleranzanalyse
-
- Verknüpfung der Toleranzbetrachtung mit Kostenbewertung und Auslegungsmodulen
 - Anwendung für komplexere Bauteile wie segmentierte Rotorblätter



Dipl.-Ing. Birgit Wieland

German aerospace center

Faserverbundtechnologie

Institut für Faserverbundleichtbau und
Adaptronik

Lilienthalplatz 7
D-38108 Braunschweig

phone +49 531 295-2911

e-mail Birgit.Wieland@dlr.de

homepage [www. DLR.de/FA/](http://www.DLR.de/FA/)

